

Vers une ontologie des risques et des catastrophes : le modèle conceptuel

D. PROVITOLO¹⁻³, J.P. MÜLLER², E. DUBOS PAILLARD³

¹ UMR 6526 Géosciences Azur, CNRS,
UNSA
250 rue A. Einstein,
06560 Valbonne
damienne.provitolo@geoazur.unice.fr

² CIRAD
Campus international de Baillarguet
34398 Montpellier cedex 5
jean-pierre.muller@cirad.fr

³ UMR 6049 ThéMA, CNRS, Université de Franche-Comté
32 rue Mégevand, 25030 Besançon
edwige.dubos-paillard@univ-fcomte.fr
damienne.provitolo@univ-fcomte.fr

Mots clefs : ontologie, risque, catastrophe, représentation, acteur

Résumé

Nous présentons une réflexion sur la construction d'une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. L'objectif est de revenir sur les concepts essentiels permettant de caractériser le risque, l'accident, la catastrophe et les notions associées, et d'organiser ces concepts entre eux par des relations. Nous présentons donc le modèle conceptuel du domaine des risques et des catastrophes, modèle réalisé à partir des diagrammes de classe d'UML(Unified Modelling Language). Si l'exercice semble *a priori* simple, la prise en compte de la représentation des différents types d'acteurs concernés complexifie notablement ce que recouvrent le risque et la catastrophe. Cette ontologie se veut applicable à différents types de catastrophes, qu'elles soient localisées ou diffuses, d'origine naturelle, industrielle/technologique ou sociale. Elle ambitionne également d'être adaptée pour étudier les catastrophes à différentes échelles (micro, méso, macro).

Introduction

Les risques et les catastrophes sont de moins en moins tolérés par la société. Ces phénomènes sont désormais pris en compte dans de nombreux domaines et à différentes échelles : celle de l'individu, de la population, du territoire mais aussi celle de la planète. Quelles que soient les échelles d'analyse, des efforts importants sont mis en oeuvre pour atténuer les risques. Des métiers spécifiques ont été créés pour les limiter tant dans le domaine de l'environnement, de l'industrie, de l'agriculture que des services. C'est pourquoi, lorsqu'un accident ou une catastrophe surviennent, la portée de l'évènement a un retentissement important, nos sociétés étant de moins en moins aptes à les accepter.

Le domaine des risques et des catastrophes a fait l'objet de nombreux travaux portant sur les concepts [Dauphiné, 2003, D'Ercole et al., 1994, Gilbert, 2006 ; Kervern, 1995 ; Leone, 2008 ; November, 2006 ; Pigeon, 2005 ;

Provitolo, 2007 ; Uitto, 1998 ; Veyret, 2004 ; Wisner, 1999] et sur l'analyse de catastrophes majeures.

Dans cet article, nous proposons de nous situer à l'interface de ces deux approches, l'une conceptuelle, l'autre appliquée, en abordant la construction d'une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. L'exercice est complexe car notre ambition est de proposer un modèle conceptuel utilisable pour l'analyse de différents types de catastrophes, à différentes échelles. Ceci, afin de faciliter les mises en perspective d'évènements différents ayant *a priori* peu d'éléments communs, et de proposer une méthodologie d'aide à la comparaison d'évènements.

Le modèle conceptuel proposé est également un moyen de mieux appréhender la représentation de ces évènements. Dans cette analyse, nous faisons l'hypothèse que les notions de risques et de catastrophes, ainsi que bien d'autres notions associées, sont de l'ordre des jugements, des évaluations que se font les acteurs des évènements passés ou possibles. Cette hypothèse permet de prendre en compte des représentations différentes selon les acteurs en fonction de leurs critères et donc d'analyser leurs éventuelles incohérences.

L'article s'articule en deux parties. Dans la première, nous précisons tout d'abord l'intérêt de l'élaboration d'une ontologie du domaine des risques et catastrophes et nous décrivons un exemple illustratif relatif à un tremblement de terre. Puis, dans la deuxième partie, nous présentons le modèle conceptuel du domaine des risques et des catastrophes. Cette partie s'organise autour de quatre paragraphes relatifs à la structure du système, à la dynamique du système, aux acteurs qui observent le système et à leur représentation.

1 De l'intérêt de l'élaboration d'une ontologie du domaine des risques et des catastrophes à la présentation d'un exemple illustratif

1.1 L'apport d'une ontologie du domaine des risques et des catastrophes

En informatique, une ontologie se définit comme une spécification de la conceptualisation d'un domaine [Grüber, 1993]. Dans notre cas, le domaine est celui des risques et des catastrophes et nous en proposons la spécification. La représentation formalisée proposée est composée d'un ensemble de concepts structurés par des relations sémantiques et taxinomiques que nous appellerons modèle conceptuel. Notre objectif ici n'est pas ici de faire la description de situations concrètes mais de proposer un cadre directeur basé sur l'identification des concepts importants du domaine, la clarification des relations entre les objets pour permettre une standardisation des langages pour traiter des risques et des catastrophes d'origine naturelle, technique/technologique, sociale ou

épidémiologique, localisés ou diffus. Nous souhaitons également faciliter la discussion, l'échange de point de vue entre les disciplines. Cette ontologie formalisée pourrait donc être un outil de communication entre les disciplines. La représentation de la structure et de la dynamique du système s'effectuera en utilisant les diagrammes de classes d'UML [Bommel et Müller, 2007].

Le risque et la catastrophe sont des objets pluridisciplinaires, aux définitions multiples Y. Veyret (2004). Nous nous limitons ici à une définition relativement générale de ces deux concepts. Le risque relève du domaine du potentiel. Il identifie un ou plusieurs événements qui pourraient se réaliser. Le risque peut ainsi être quantifié à partir de séries statistiques, ou non quantifié en l'absence de séries statistiques. La catastrophe est bien réelle, au sens où l'événement s'est produit, a une durée et une intensité et peut être daté, spatialisé, évalué par les dommages engendrés. Dans ce papier, les catastrophes sont entendues au sens de désorganisation sociale et spatiale des territoires et des sociétés affectés par un événement perturbateur.

L'objectif de ce papier est donc de proposer un cadre conceptuel qui peut être appliqué à différentes études de risques et de catastrophes réalisées par des chercheurs et des acteurs aux « background » distincts. C'est pourquoi, l'approche systémique est retenue comme clé d'entrée pour réaliser l'ontologie du domaine des risques et des catastrophes. Elle permet de décloisonner les approches souvent disciplinaires.

Une première instantiation de l'ontologie proposée en deuxième partie est réalisée à partir de l'exemple de risque de catastrophe présenté ci-après.

1.2 Un exemple d'effets de dominos déclenchés lors d'un séisme

L'exemple intitulé « *Effets de dominos déclenchés lors d'un séisme* » (Fig. 1) ne correspond pas à une catastrophe qui s'est effectivement produite. Il s'agit d'un risque d'enchaînement de catastrophes naturelles et technologiques qui pourrait se déclencher à la suite d'un séisme à Tokyo. En effet, dans cette zone, un séisme pourrait détruire les digues du fleuve Sumida et serait ainsi à l'origine d'une inondation. Ce scénario servira de support à la mise en œuvre de l'ontologie et peut donc être considéré comme un premier test de robustesse.

L'exemple proposé est réalisé à partir d'un diagramme d'objet. Cet exemple met en scène quatre éléments, que sont respectivement une faille, une digue, une vallée et une personne ainsi que quatre événements liés par des relations de causalité : un glissement de faille (événement 1) entraînant une rupture de digue (événement 2) générant alors une inondation (événement 3) et une atteinte aux personnes (événement 4). L'atteinte aux personnes peut être physique, psychologique etc. Les quatre événements sont liés par des relations de causalité et portent sur les éléments. Les éléments sont en effet la « matière » dans laquelle les événements viennent s'inscrire. Les liens de causalité (relation causale), d'action sur (porte sur) sont donc les deux liens à instancier.

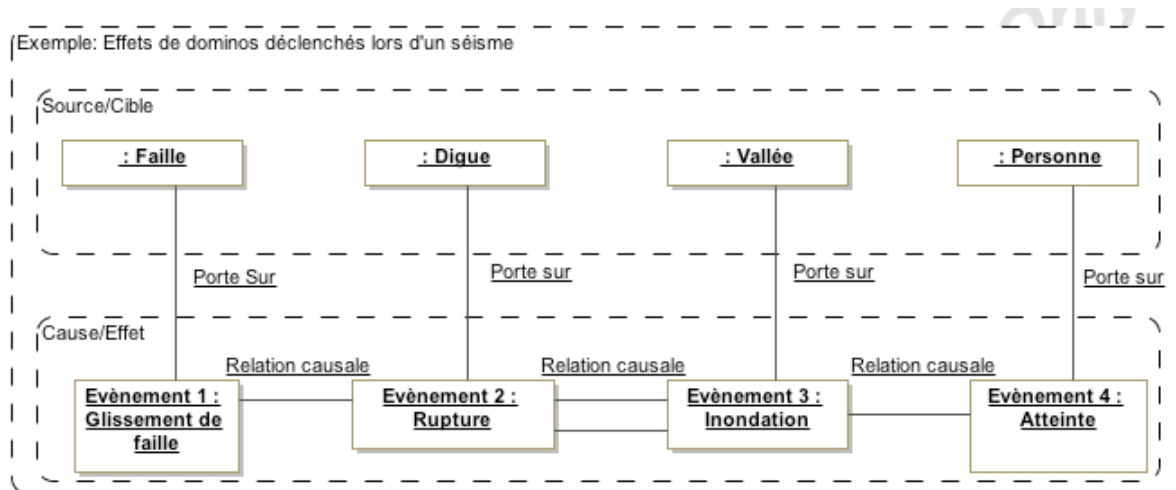


Figure 1 – *Un exemple d'effets de dominos déclenchés lors d'un séisme*

Les quatre éléments peuvent changer de statut lors du déroulement de l'évènement et peuvent ainsi être qualifiés tour à tour de source ou de cible. La relation entre éléments (au sens où il y a l'action d'un élément sur un autre) résulte de la composition des relations « porte sur » et « relation causale ». Relativement à notre exemple, lors du tremblement de terre, une digue, qui, via l'évènement glissement de faille, est la cible de la faille devient en revanche la source de danger pour la vallée. Ainsi, une inondation porte sur la vallée (zone inondable) qui est la cible d'une digue et la source de danger pour les personnes.

De même que tout élément est une source ou une cible, tout évènement est une cause ou un effet. L'aléa est alors un cas particulier de cause, de même que l'accident est un cas particulier d'effet. Dans notre exemple, un glissement de faille (évènement 1) est un aléa qui cause une rupture de digue (évènement 2) qui déclenche une inondation (évènement 3) à l'origine de l'atteinte aux personnes (évènement 4). Dans cet exemple, l'évènement 2 est à la fois une cause et un effet. Il est une cause au sens où il est l'aléa dérivé du glissement de faille (aléa d'origine) et un effet au sens où la rupture de digue produit un accident. Un effet est qualifié d'accident quand il produit des dommages. Ainsi un évènement peut être tour à tour qualifié d'aléa ou d'accident.

2 Découpage systémique du modèle conceptuel en sous-systèmes et relations entre concepts

Pour construire cette ontologie, nous avons retenu deux approches :

- l'approche systémique : clef d'entrée pour réaliser le méta modèle, cette approche permet de dépasser et décloisonner les approches disciplinaires
- l'approche ontologique : utilisation de diagramme de classes d'Unified Modelling Language pour représenter la structure et la dynamique du modèle

Ce méta modèle est un système constitué de 4 sous-systèmes (Fig 2) :

- Le sous-système *Structure* identifie les éléments pertinents à l'analyse d'un système soumis à des événements potentiellement catastrophiques ;
- Le sous-système *Dynamique* identifie les éléments constituant un déroulement effectif d'événements ;
- Le sous-système *Acteur* permet d'énumérer les différentes parties prenantes du système ;
- Le sous-système *Représentation* permet pour chaque acteur d'explicitier ses catégories d'analyse des éléments et des événements, réels ou possibles. Ce sous-système est composé de deux autres sous-systèmes qui correspondent respectivement au *Référentiel conceptuel de l'acteur* et à la *Qualification d'une situation concrète*.

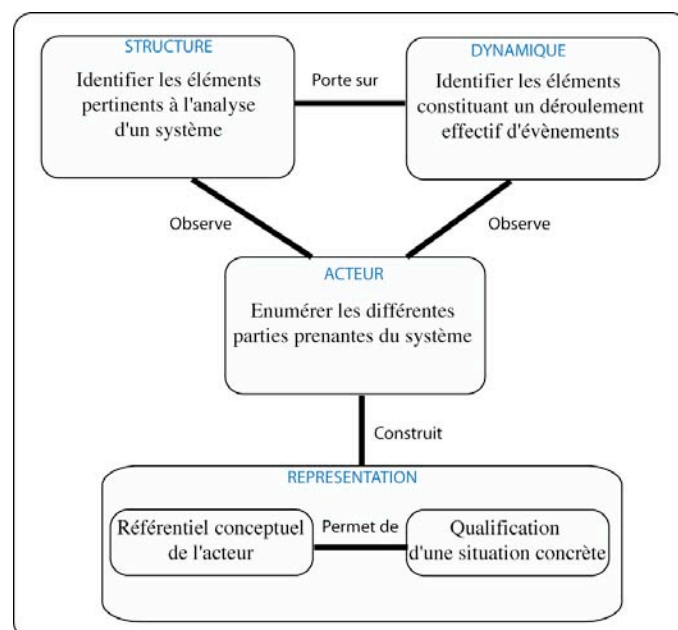


Figure 2 – Découpage systémique du méta modèle en quatre sous-systèmes

2.1 La structure du système

La *Structure* identifie les éléments pertinents à l'analyse d'un système soumis à des événements potentiellement catastrophiques. Les éléments sont donc les parties qui constituent la structure du système (Fig. 3). Ce système est ouvert sur son environnement (au sens systémique du terme). Il est donc également composé d'éléments exogènes qui sont, par définition, en dehors du champ d'étude. La classe « Élément » généralise les classes « Élément vivant », « Élément physique », « Organisation » et « Infrastructure ». Pour définir les termes précédemment énoncés :

- l'élément vivant regroupe l'ensemble des humains et des populations naturelles, telles les plantes et les animaux ;

- l'élément physique correspond à la description de la surface de la terre (océanographie, hydrographie, pédologie, relief...) et ne s'intéresse pas directement aux activités humaines.
- l'organisation est une structure permettant de répondre à des besoins et d'atteindre des objectifs déterminés. L'organisation intègre les systèmes de prévention et de gestion des événements. Elle est potentiellement vulnérable (sa prise en compte comme intervenant est intégré dans le système « Acteur ») ;
- les infrastructures diverses englobent le bâti, les équipements, les réseaux, etc.

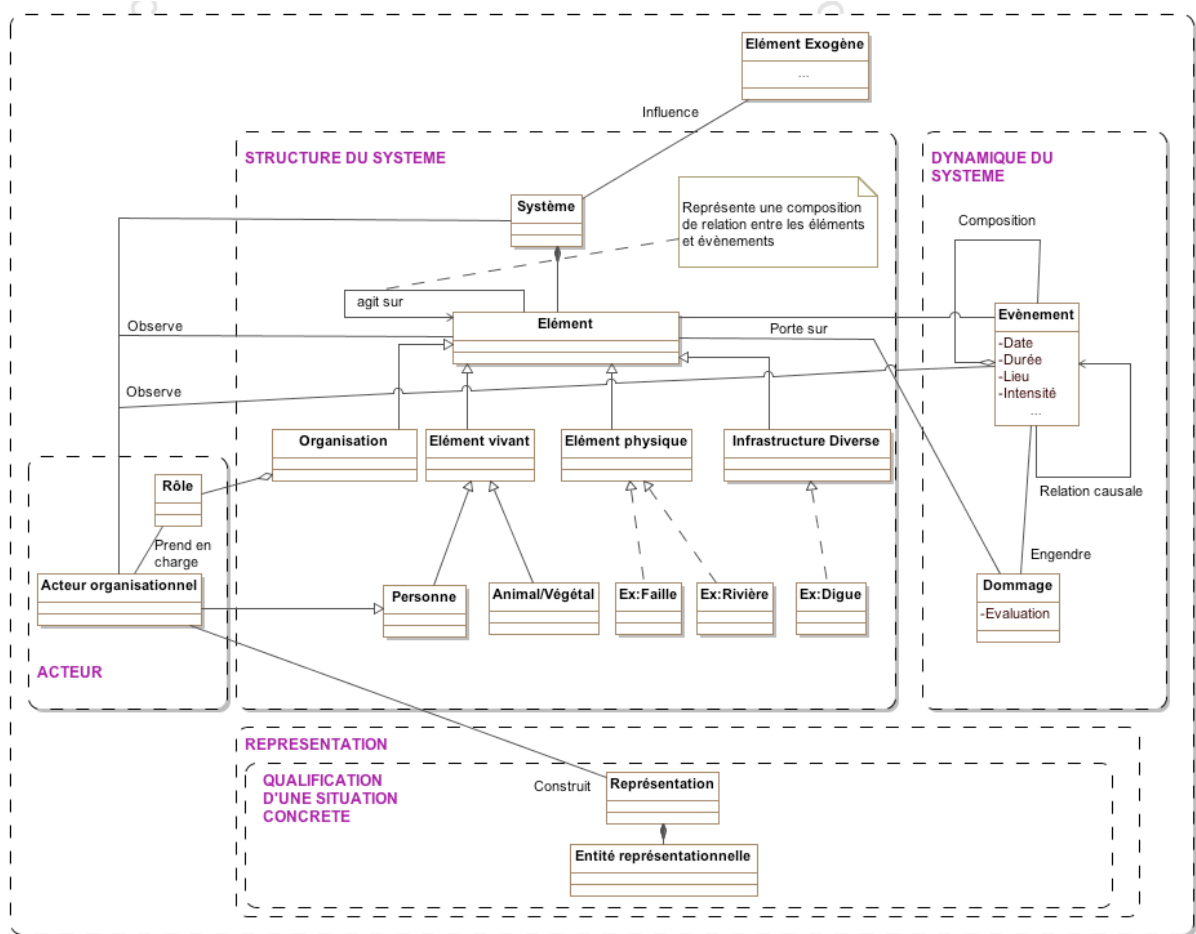


Figure 3 - La structure du système et ses relations avec les sous-systèmes Dynamique, Acteur et Représentation

La structure du système est en relation avec les sous-systèmes « dynamique » et « acteur ». Avec l'acteur car l'acteur organisationnel prend en charge des rôles définis par l'organisation. Avec la dynamique car les événements de même que les dommages portent sur la classe « élément ».

2.2 La dynamique du système

De même que la structure du système se compose d'éléments, la dynamique du système (Fig. 4) se compose de structures élémentaires que sont les événements.

L'évènement peut causer un autre évènement et porte sur des éléments du système. Les évènements sont donc liés entre eux par des relations de causalité qui s'effectuent via les éléments. La relation « porte sur » permet d'établir le lien, le rouage entre évènement et élément. Les éléments ne sont en effet rien d'autres que la « matière » dans laquelle les évènements viennent s'inscrire.

L'évènement est une occurrence d'un type d'événement. Ce dernier est qualifié par l'aléa. Un type d'événement peut être d'origine naturelle, technologique, sociale, sanitaire etc. Chacune de ces catégories peut ensuite être décomposée en sous-catégories. L'évènement est un fait qui survient à un moment donné. Il peut donc être daté, il a une durée de vie, il s'inscrit dans un lieu et a une certaine intensité (ce sont ses attributs). L'évènement peut également être probable ; il correspond alors à un risque, quantifié ou non. Le risque non quantifié est un risque dont on ne peut mesurer ni le temps de retour ni la probabilité de réapparition, car l'événement (qui concrétise le risque) ne s'est jamais ou que très rarement produit. Le risque ne peut pas être daté, mais on peut faire des hypothèses sur sa durée et sur le lieu où il pourrait se produire.

Comme le montre l'exemple présenté en première partie, il peut y avoir une chaîne de causalité entre évènements. Cette chaîne de causalité correspond aux effets dominos bien souvent cités dans la littérature sur les risques et les catastrophes, notamment par [Bak, 1996 ; Blaikie et al., 1994 ; Chaline et Dubois Maury, 2004 ; Provitolo, 2005, 2007 ; Daudé et al., 2007]. Par le biais de ces effets de dominos, un évènement est rarement isolé et est au contraire composé d'autres évènements. Par le biais de cette chaîne de causalité, un évènement peut être le composant de plusieurs évènements. Par exemple, une rupture de digue peut être le composant de deux évènements, comme un glissement de terrain et un tremblement de terre. L'acteur construit sa représentation d'un évènement à partir de l'observation.

Enfin, l'évènement peut engendrer des dommages de différentes natures et en quantité variable. Les dommages portent sur les éléments, ce qui explique que la classification des dommages est calquée sur celle des éléments. Les classes intitulées « dommage humain », « dommage aux espèces et au fonctionnement des écosystèmes », « dommage matériel », « dommage au système social » et « dommage au patrimoine » spécialisent la classe « Dommage ». Ces dommages peuvent faire l'objet de quantifications ou de descriptions littéraires. Ils sont le plus souvent définis en termes humain ou matériel. Mais ils peuvent également porter sur les systèmes économiques et financiers et sur le patrimoine, qu'il soit naturel ou construit.

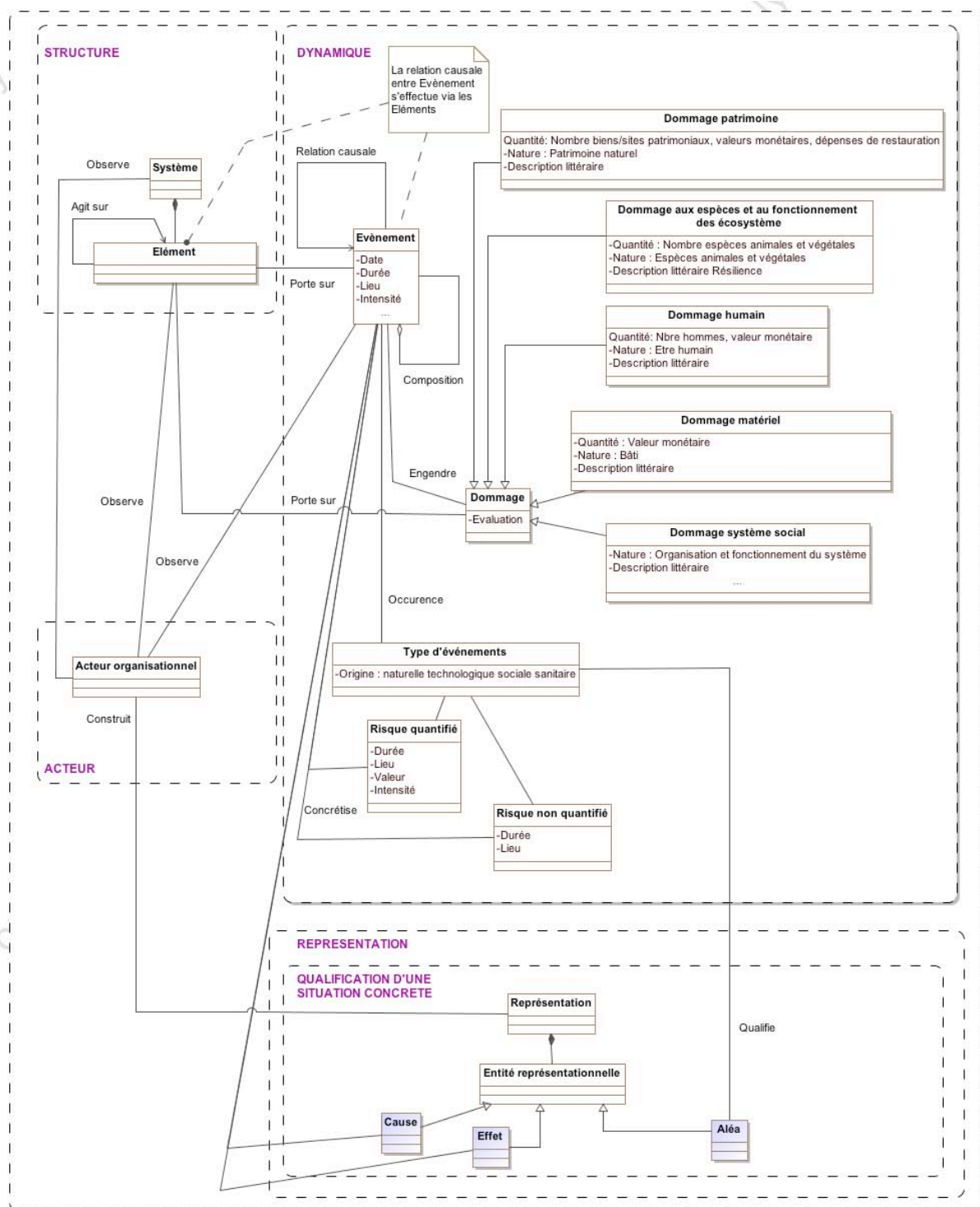


Figure 4 - La dynamique du système et ses relations avec les sous-systèmes Structure, Acteur et Représentation

2.3. Le système Acteur

Le système *Acteur* permet d'énumérer les différentes parties prenantes du système, notamment en matière de prévention des risques et/ou de gestion des catastrophes. Ce système aurait pu être intégré dans la structure du système. Le

choix de l'individualiser reflète le parti de s'intéresser aux représentations des acteurs. Les acteurs organisationnels sont des groupes structurés de personnes qui ont un rôle au sein d'une organisation. Il est possible de distinguer différents types d'acteurs organisationnels, notamment : les acteurs de l'organisation des secours et de la mise en place de plans particuliers de sûreté (maire, préfet, chef d'établissement...), les services opérationnels (le SDIS, le SAMU, les médecins formés à la « médecine de catastrophe », le CODIS...), les services de l'Etat qui sont acteurs de la prévention des risques (la DRIRE, la DIREN, la DDE, la DAF, la DSDS pour la France), mais aussi les experts, les assureurs, les législateurs, les communicateurs, les associations etc.

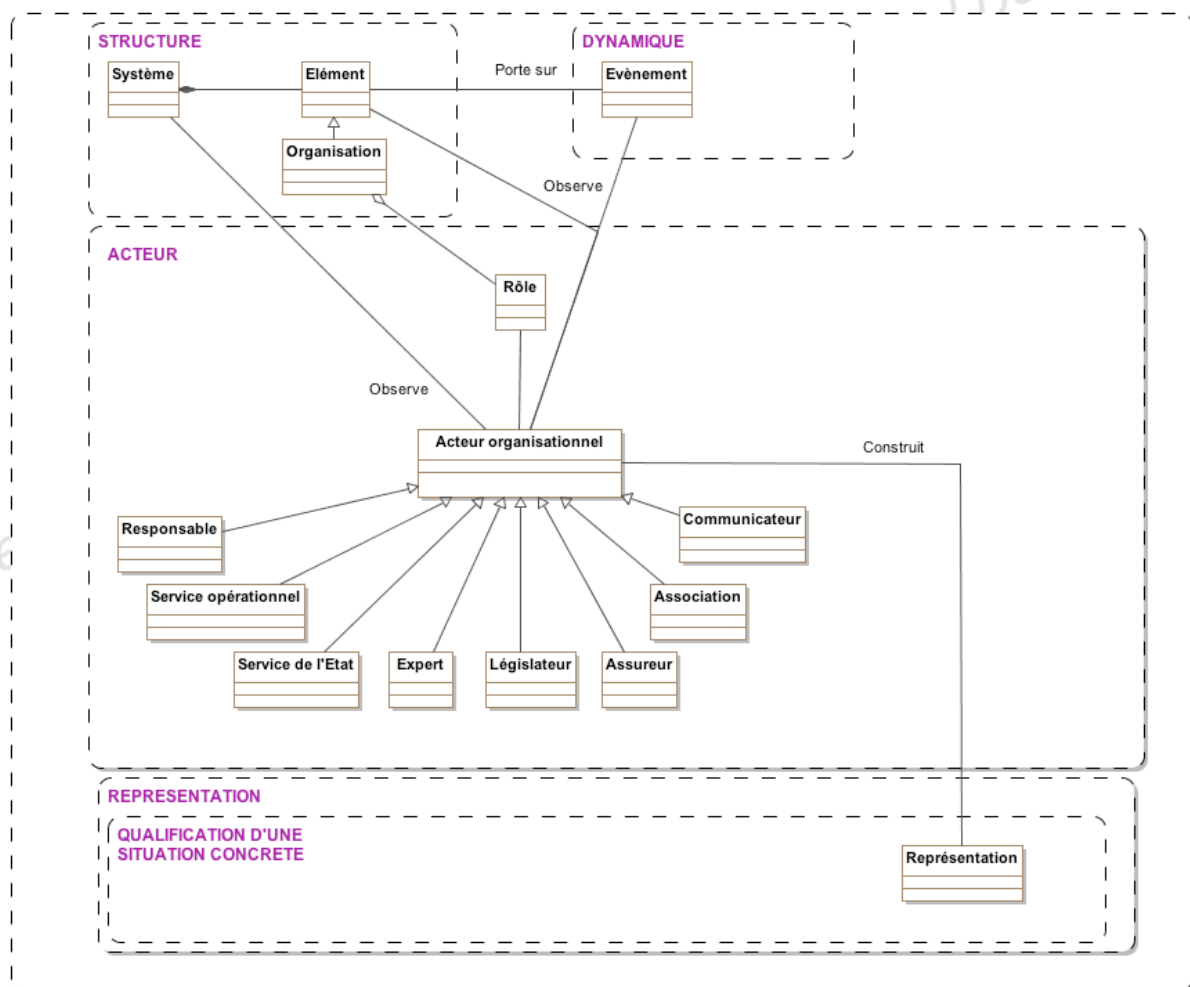


Figure 5 - Les acteurs et leurs relations avec les sous-systèmes Structure, Dynamique et Représentation

L'acteur observe les éléments du système et les événements et construit des représentations à partir de ses observations. Ces représentations vont permettre de qualifier une situation à partir d'un référentiel conceptuel. Dans un travail ultérieur, nous souhaitons intégrer les différentes missions et actions dévolues aux acteurs, notamment en termes de gestion préventive des risques, de gestion des catastrophes et de communication de crise. Ces actions ont un effet

en retour sur la structure et la dynamique du système mais aussi sur les représentations qui qualifient l'évènement.

Cette piste de recherche s'intéressera donc davantage aux rôles des actions sur le système (par exemple, des actions préventives portant sur la délimitation de zone où l'urbanisation est interdite ou réglementée modifieront l'exposition des éléments et donc leur vulnérabilité) qu'à la capacité de coordination et d'interopérabilité des acteurs. La coordination des actions des acteurs organisationnels a en effet déjà été analysée dans le cadre du projet ISyCri (*Interoperability of Systems in Crisis Situation*) [Bénaben et al., 2008], projet qui porte sur une ontologie de caractérisation de situation de crise.

2.4 Représentations

Le système *Représentation* permet pour chaque acteur d'explicitier ses catégories d'analyse des éléments du système et des événements qui s'y déroulent. On distingue dans les représentations de l'agent :

- La qualification d'une situation concrète ou d'un scénario possible à l'aide de ce cadre conceptuel.
- Le référentiel conceptuel qui définit les notions et les critères qu'utilise l'acteur pour qualifier une situation.

2.4.1 Qualification d'une situation concrète

La qualification d'une situation concrète s'effectue à partir de la représentation portée par l'acteur sur les éléments et les événements du système (Fig. 6).

Tant dans la caractérisation d'un événement ayant eu lieu ou probable (risque), l'observateur possède une représentation des éléments du système. Ces éléments peuvent être qualifiés d'élément vulnérable, de danger, de source et de cible. Le lien entre élément et élément vulnérable s'effectue par composition des différentes relations qui passent par le canal de la représentation. Les classes « source » et « cible » sont liées par une relation d'association dans la mesure où une source peut devenir une cible et *vice versa*. La classe « source » généralise la classe « danger » tandis que la classe « cible » généralise la classe « élément vulnérable ». La qualification de source en danger et de cible en élément vulnérable se fait selon les critères qui relèvent du référentiel conceptuel de l'acteur concerné. Cette qualification peut donc varier en fonction des acteurs.

L'originalité de cette conception est de permettre à tout élément « d'endosser » différentes fonctions, celle de source pour l'élément danger, celle de cible pour l'élément vulnérable.

L'observateur possède également une représentation des événements du système qui portent sur les éléments. Ces événements peuvent être qualifiés d'aléa, d'accident, de catastrophe, d'effet ou de cause. L'aléa est une notion

difficile à cerner. Il est considéré ici comme un phénomène potentiel ; s'il se produit il est considéré comme un type d'événement.

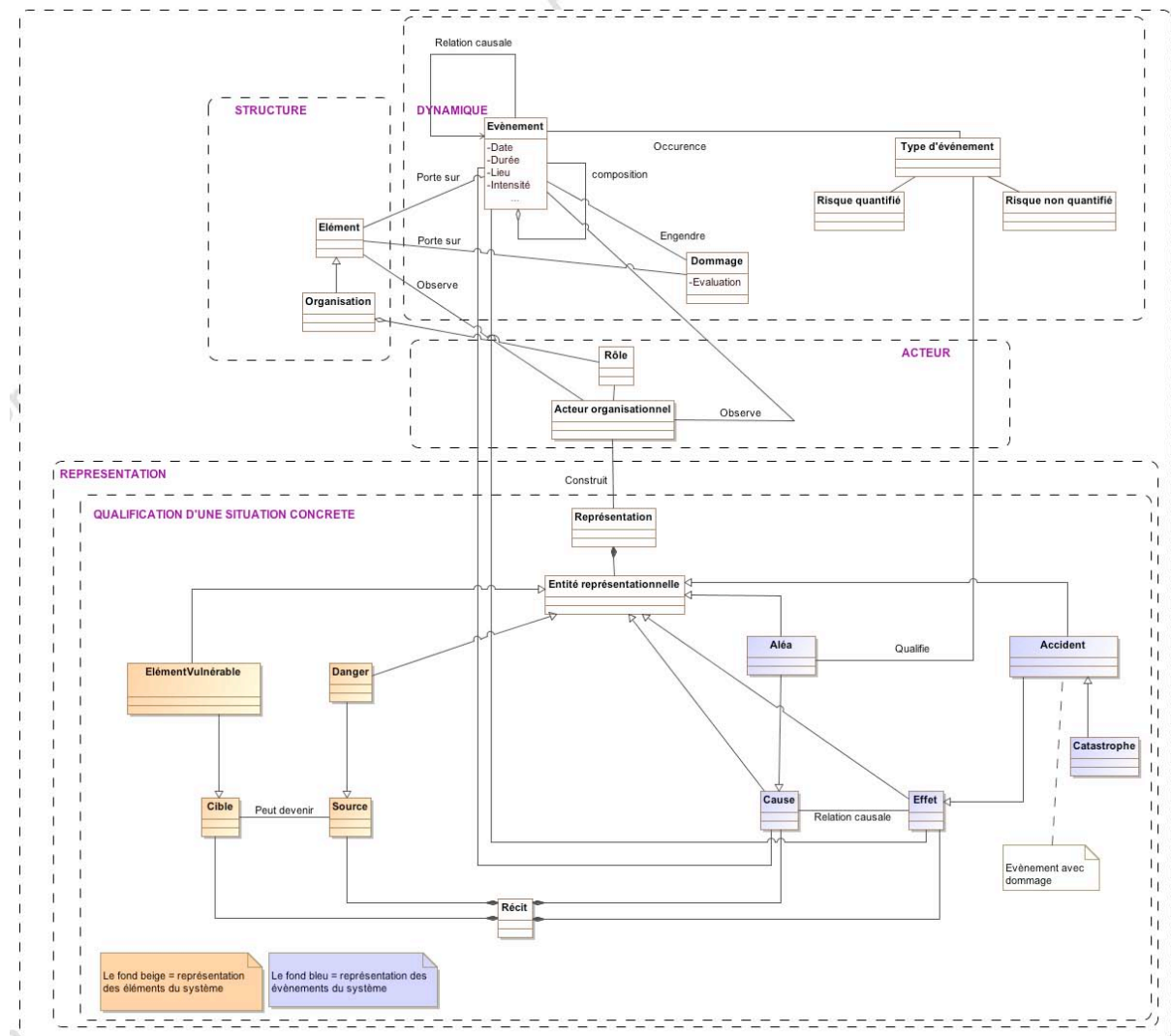


Figure 6 - Qualification d'une situation concrète et relation avec les sous-systèmes Structure, Dynamique et Acteur

L'aléa qualifie le type d'évènement qui nomme l'occurrence d'un évènement et ce dernier peut être une cause ou un effet (Fig. 6). On distingue la cause, l'effet et l'expression d'une relation causale entre la cause et l'effet. Prenons un exemple : un évènement X provoque un Y. X est la cause, « provoque » est l'expression de la relation causale, Y est l'effet. L'évènement est donc une cause ou un effet, selon sa situation dans la chaîne de causalité.

De même, un accident est un cas particulier d'effet si l'évènement considéré produit des dommages. Les dommages déterminent l'accident quand il s'agit de décrire et quantifier des pertes effectives et définissent le risque quand il s'agit de décrire ou quantifier des pertes potentielles. En fonction de l'importance des dommages, l'acteur va qualifier l'évènement d'accident ou de catastrophe sur la base de critères (seuil de dommages, intensité d'un aléa). Tout évènement n'est donc pas un accident et tout accident n'est pas une catastrophe.

Le récit permet d'articuler entre elles les notions de source, de cible, de cause et d'effet. Dans le récit, il y a des effets narratifs dans la façon de retranscrire et d'agencer les événements entre eux. Il peut donc être intéressant de comparer les observables effectifs, le récit qu'on en fait (le passage par l'acteur des observables à leur représentation) et les récits de plusieurs acteurs entre eux. En effet, le récit peut être plus ou moins décalé par rapport aux observables en raison de différents biais qui peuvent intervenir : mise en scène de l'évènement, effets narratifs, perceptions etc. Nous nous attacherons à l'explicitation du référentiel interprétatif.

2.4.2 Référentiel conceptuel de l'acteur

L'accident, la catastrophe, l'aléa, l'élément vulnérable font l'objet de représentations portées par l'acteur sur la situation. Le référentiel conceptuel de l'acteur permet de qualifier une situation (Fig. 7).

On distinguera les critères permettant de définir un aléa, de considérer qu'un accident est une catastrophe, qu'un élément est vulnérable et enfin les critères d'acceptabilité de l'accident, du risque quantifié ou non quantifié.

Trois critères permettent de considérer qu'un élément est vulnérable. Il s'agit des notions d'exposition, de sensibilité et de résilience [Pelling, 2003]. Ces notions étant polysémiques, nous utilisons ici les définitions les plus usitées. Dans le domaine des risques et des catastrophes, l'exposition est le plus souvent définie en fonction du type d'événement, de son intensité et des éléments du système soumis à la perturbation [Adger, 2006]. L'espace peut être par exemple identifié comme plus ou moins exposé à l'événement en fonction de la distance séparant la cible de la source de danger. La sensibilité se réfère à la réactivité du système, comme l'alerte précoce, et à sa capacité de résistance [Luers, 2005], celle par exemple de la résistance physique du bâti lors d'un séisme. Enfin, la résilience peut se définir comme la capacité d'un élément à se remettre d'une perturbation [Klein et al. 2003 ; Timmerman, 1981].

L'aléa est caractérisé par son intensité, sa durée et le lieu où il peut se produire. Les critères de seuil de dommages ou d'intensité anormale d'un aléa permettent de considérer qu'un accident (et donc un événement ayant produit des dommages) est une catastrophe. Les critères d'intensité anormale d'un aléa permettent de constater par arrêté ministériel l'état de catastrophe naturelle, et ce même si les pertes humaines sont peu importantes.

Enfin, les critères d'acceptabilité permettent de statuer sur l'acceptabilité de l'accident et du risque. L'acceptabilité est une construction sociale [Douglas et Wildavsky, 1982], qui varie selon les acteurs et leurs critères de choix.

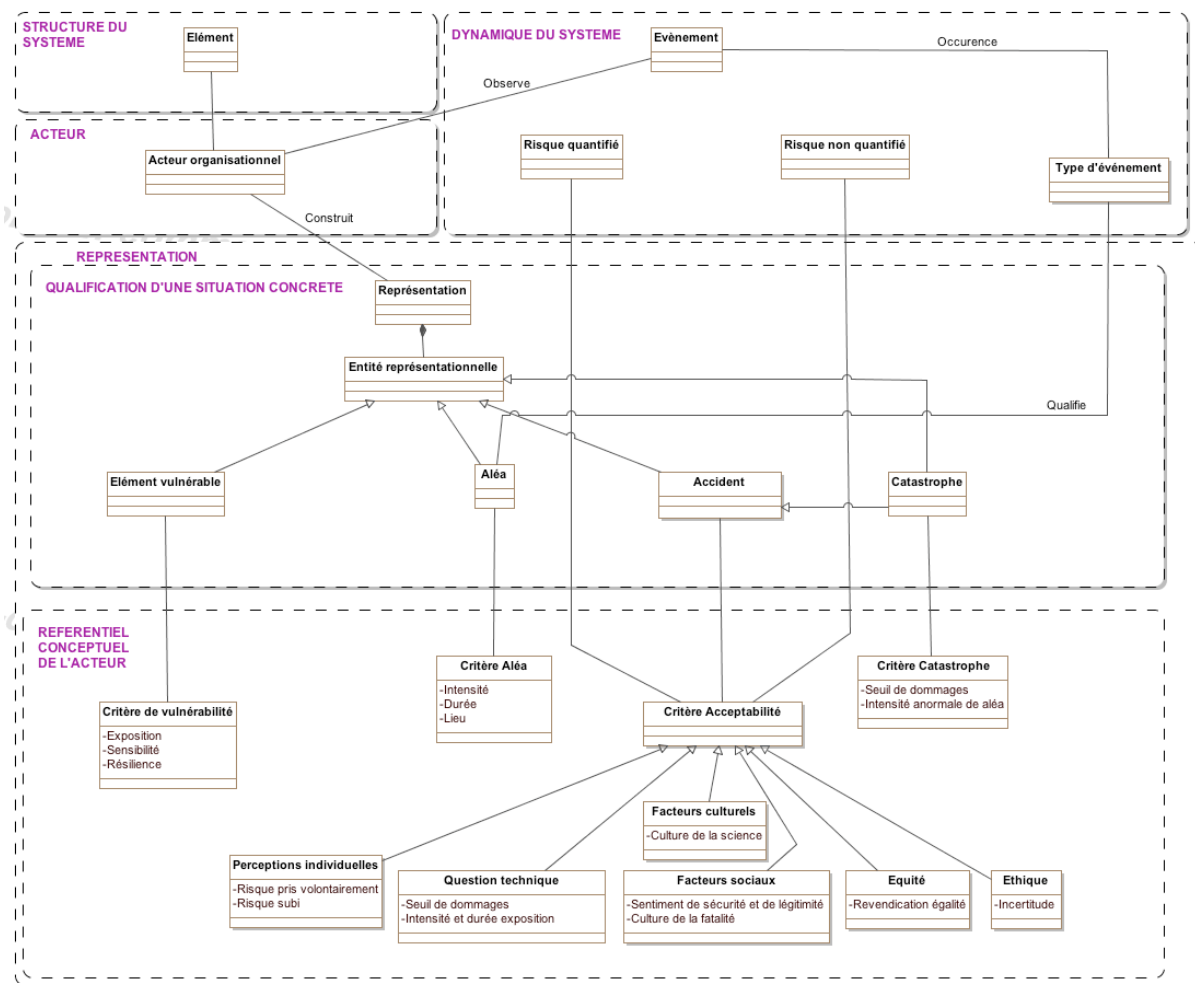


Figure 7 - Référentiel conceptuel de l'acteur

L'acceptabilité est donc vue sous des angles différents, notamment :

- les perceptions individuelles : un accident subi est rarement accepté à l'inverse d'un accident résultant de risque pris volontairement.
- l'évaluation de seuils permettant de déterminer ce qui est acceptable pour la société. Ces seuils peuvent notamment être établis à partir de la gravité des dommages, de l'intensité du phénomène et de la durée de l'exposition.
- la question sociale renvoie au sentiment de sécurité face à l'accident et de légitimité.
- la question culturelle renvoie à la culture de la fatalité ou de la science face à l'accident et à la catastrophe.
- la question de l'équité renvoie à la revendication de l'égalité face aux catastrophes. La Nouvelle-Orléans inondée lors de l'ouragan Katrina témoigne d'une société américaine inégalitaire [Mancebo, 2006], société où les inégalités dans la reconstruction perdurent encore aujourd'hui.
- les préoccupations éthiques à l'égard des accidents dans nos sociétés sont notamment liées à l'incertitude scientifique des conséquences de certains accidents (de type nucléaire par exemple) sur le plan de la santé et de l'environnement.

Les acteurs ont également une représentation du risque acceptable. En France, de même que dans de nombreux pays de l'Europe, le risque accepté est mal défini par la loi. De même que pour un accident, les pays décident de l'acceptabilité du risque à partir de paramètres nationaux. Ces derniers sont relatifs aux perceptions individuelles, aux facteurs sociaux et culturels, à l'éthique et l'équité, à la gravité des dommages. L'acceptabilité du risque agit sur le choix d'exposition ou non à l'aléa [Gilbert, 2003] et sur la mise en place de mesures visant à réduire l'exposition au risque et les effets potentiels de ce dernier.

Conclusion

Cet article présente notre premier travail de réflexion sur la construction d'une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. La réalisation du modèle conceptuel a permis d'identifier, de clarifier et de décrire les concepts liés à un domaine et les relations entre ces concepts, permettant ainsi de dessiner l'ensemble du « ciel sémantique qui éclaire un domaine ». Cet éclairage participe à unifier l'usage et le sens des termes relevant du domaine d'étude concerné et de nuancer les liens entre les différents concepts. Cette ontologie peut donc être un outil de communication entre acteurs.

De plus, le rôle des différents concepts du domaine dans la réalisation de l'accident ou de la catastrophe a pu être spécifié.

Enfin, la construction de ce modèle a permis de replacer les acteurs et leurs représentations dans le système. Les notions d'accident, de catastrophe, ainsi que bien d'autres notions associées, sont en effet de l'ordre de la représentation que se font les acteurs des événements.

Ce modèle conceptuel pourrait donc servir de cadre à une analyse des risques mettant en scène des acteurs différents dont l'usage et le sens attribué aux termes diffèrent.

Toutefois, ce modèle conceptuel présente également des points faibles. L'une des limites est relative à l'instanciation de l'ontologie. La diversité des risques et des catastrophes, tant dans leur nature que leur temporalité et spatialité, amène en effet à s'interroger sur la robustesse de ce modèle conceptuel. Il conviendra donc dans un travail ultérieur de tester le modèle conceptuel à partir de l'instanciation d'une catastrophe passée ayant par exemple fait l'objet d'un ou de plusieurs récits. Cette instanciation permettra de plus de finaliser l'ontologie du domaine des risques et des catastrophes.

La deuxième limite est relative à l'absence de prise en compte des actions des acteurs. Ces actions peuvent avoir trait notamment au domaine de la prévention individuelle ou collective et à la gestion de catastrophe. Ces actions ont la particularité de modifier, d'agir sur la dynamique des événements et la structure des éléments du système et par voie de conséquence, de rétroagir sur la vulnérabilité des éléments, sur le risque etc. Par exemple, de l'acceptabilité du

risque découle la mise en place de mesures visant à réduire l'exposition au risque/source (délimiter des zones où l'urbanisation est interdite, soumise à réglementation etc.) et les effets potentiels du risque. Relativement à nos perspectives de recherche, nous souhaitons donc intégrer, dans le modèle conceptuel sus présenté, un sous-système relatif aux actions des acteurs et leurs effets sur le système et ses représentations.

Références

- W.N. Adger, « Vulnerability », *Global Environmental Change*, 16 (3), p. 268-281, (2006).
- P. Bak, *How Nature Works*, Springer-Verlag New York, (1996).
- F. Benaben, C. Hanachi, L. Matthieu, P. Couget, V. Chapurlat, « A Metamodel and its Ontology to Guide Crisis Characterization and its Collaborative Management », in *Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, Washington, DC, USA, May 4-7, (2008).
- P. Blaikie, T. Cannon, I. Davis, B. Wisner, *At risk : natural hazards, people's vulnerability and disasters*, London New York, Routledge, (1994).
- P. Bommel, J.P. Müller, « An Introduction to UML for Modelling in the Human and Social Science », in Phan D., Amblard F. (eds), *Agent-based Modelling and Simulation in the Social and Human Sciences*, Oxford, The Bardwell Press. p. 273-294., (2007).
- C. Chaline, J. Dubois-Maury, *Les risques urbains*, Armand Colin, Paris, 210 p., (2004).
- R. D'Ercole et al., « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de géographie alpine*, tome LXXXII, n°4, p. 87-96, (1994).
- E. Daudé, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, D. Gaillard, E. Eliot, P. Langlois, E. Propeck-Zimmermann, T. Saint-Gerand, « Industrial risks and complex systems », Actes du colloque international *European Conference Complex Systems -EPNACS'07*, Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems, p. 81-92, (2007).
- A. Dauphiné, *Risques et catastrophes*, Armand Colin, Paris, 288 p., (2003).
- M. Douglas et A. Wildawski, *Risk and culture : An essay on the selection of technological and environmental dangers*, Berkeley : University of California Press, (1982).
- C. Gilbert, « La vulnérabilité, une notion à explorer », *Pour la Science*, n° 51, p. 116-120, (2006).
- C. Gilbert, *Risques collectifs et situations de crise. Apport de la recherche en sciences humaines et sociales*, Collection Risques Collectifs et Situations de Crise, l'Harmattan, Paris, 340 p., (2003).
- T.R. Grüber, « Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing », in N. Guarino and R. Poli, (Eds.), *International Workshop on Formal Ontology*, Padova, Italy, (1993). In *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 43(5-6), 2005, p 907-928, (2005).
- G.-Y. Kervern, *Éléments fondamentaux des Cindyniques*, Economica, Paris, 110 p., (1995).
- R.J.T. Klein, R.J. Nicholls, F. Thomalla F., « Resilience to natural hazards : How useful is this concept ? », *Environmental Hazards*, 5, p. 35-45, (2003).
- F. Leone, Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque, HDR, Université Paul Valéry – Montpellier III, (2008).
- A. Luers, « The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change », *Global Environmental Change* 15:214–223, (2005).
- F. Mancebo, « Katrina et la Nouvelle-Orléans : entre risque "naturel" et aménagement par l'absurde », *Cybergeogéographie*, Aménagement, Urbanisme, article 353, (2006).
- M. H. Mazouni, J.-F. Aubry, E. M. El Koursi, « Méthode systémique et organisationnelle d'Analyse Préliminaire des Risques basée sur une ontologie générique », Workshop Surveillance, Sécurité et Sécurité des Grands Systèmes, 3SGS'08, Troyes, France, (2008).
- V. November, « Le risque comme objet géographique », *Cahiers de géographie du Québec*, 50(141) pp. 289-296, (2006).

- M. Pelling, *The vulnerability of cities : Natural disaster and social resilience*, Earthscan, London, UK, (2003).
- P. Pigeon, *Géographie critique des risques*, Economica, Paris, 217 p., (2005).
- D. Provitolo « A proposal for a classification of the catastrophe systems based on complexity criteria », Actes du colloque international *European Conference Complex Systems -EPNACS'07*, Emergent Properties in Natural and Artificial Complex Systems, p. 93-106, (2007).
- D. Provitolo, « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines », *Cybergéo*, n° 328, (2005).
- D. Provitolo, « La vulnérabilité aux inondations méditerranéennes : une nouvelle démarche géographique », p. 23-40, *Annales de Géographie*, (2007).
- D. Provitolo, « Les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophe », p. 259-272, Actes du colloque international *Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières*, 14èmes journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, janvier 2007, Rochebrune, Megève, (2007)
- P. Timmerman, « Vulnerability, Resilience and the collapse of society : a review of models and possible climatic applications », University of Toronto, Canada, (1981).
- J.I. Uitto, « The geography of disaster vulnerability in megacities: a theoretical framework », *Applied Geography*, Tome 18, n°1, p. 7-16, (1998).
- Y. Veyret, *Les risques*, Bréal, Paris, 206 p. (2004).
- Y. Veyret, *Géographie des risques naturels en France*. Hatier, Paris, 251 p. (2004).
- B. Wisner, « There are worse things than earthquakes : hazard, vulnerability and mitigation capacity in greater Los Angeles », in Mitchell J.-K., *Crucibles of Hazard : Disasters and megacities in transition*, Tokyo, New York, Paris, United Nations University press, (1999).